



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Evaluasi Kondisi *Overload* pada Batas Aman untuk KMP. Wisata Bahari 15 Rute Penyeberangan Pulau Panjang

Amalia Rismayanti^{1)*}, Wilma Amiruddin², Andi Trimulyono³

¹⁾ Laboratorium Teknologi Kapal Kecil dan Perikanan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}e-mail : amaliarismayanti@students.undip.ac.id

Abstrak

KMP. Wisata Bahari 15 merupakan kapal penyeberangan tradisional berbahan kayu yang melayani rute Pantai Bandengan – Pulau Panjang, Jepara. Kapal ini dibangun tanpa mengacu pada perhitungan teknis, sehingga aspek stabilitas dan keselamatannya belum tervalidasi secara ilmiah. Kondisi *overload* sering terjadi akibat tingginya jumlah wisatawan, yang menyebabkan kapal mengangkut penumpang melebihi kapasitas maksimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi batas aman jumlah penumpang dan evaluasi stabilitas serta menganalisis karakteristik olah gerak kapal (*heaving*, *pitching*, dan *rolling*). Pemodelan dilakukan menggunakan software Maxsurf Modeller, sedangkan analisis stabilitas dan olah gerak dilakukan dengan Maxsurf Stability dan Maxsurf Motion berdasarkan kriteria stabilitas IMO code on Intact stability A.749 (18), Ch 3 – design criteria applicable to all ships dan kriteria Tello. Simulasi dilakukan pada variasi jumlah penumpang 25, 30, 35, dan 40 orang dengan empat perbedaan posisi penumpang duduk dan berdiri. Hasil menunjukkan bahwa kapal masih memenuhi standar stabilitas berdasarkan IMO untuk kapal kecil hingga 35 penumpang. Respon olah gerak kapal terhadap gelombang laut juga menunjukkan nilai amplitudo *heaving*, *pitching*, dan *rolling* yang masih berada dalam batas aman menurut kriteria Tello. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam penentuan batas muatan aman serta peningkatan keselamatan pelayaran tradisional di Indonesia.

Kata Kunci : *Overload*, Stabilitas, Kapal Penyeberangan

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki tingkat ketergantungan yang tinggi terhadap transportasi laut untuk menghubungkan antar wilayah maupun pulau-pulau kecil. KMP Wisata Bahari 15 merupakan salah satu sarana transportasi yang melayani rute dari Pantai Bandengan ke Pulau Panjang, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Kapal yang dibangun secara tradisional menggunakan kayu jati ini, berperan penting dalam mendukung sektor pariwisata dan mobilitas masyarakat di wilayah tersebut.

Permasalahan mendasar yang dihadapi KMP Wisata Bahari 15 adalah tidak adanya perhitungan teknis dalam proses pembuatannya. Pembangunan kapal tidak mengacu pada kriteria ilmiah, sehingga karakteristik teknis kapal, khususnya aspek stabilitas belum diketahui secara pasti. Kondisi ini

menimbulkan kekhawatiran serius terhadap keselamatan penumpang, terutama ketika kapal beroperasi dalam kondisi *overload* yang sering terjadi pada musim liburan.

Stabilitas kapal merupakan parameter kritis yang menentukan kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami gangguan dari gaya eksternal seperti angin, gelombang, ataupun perpindahan muatan [1]. Selain stabilitas, aspek olah gerak (*seakeeping*) kapal juga menjadi faktor penting dalam menentukan keselamatan operasional, terutama dalam menghadapi kondisi cuaca buruk dan gelombang laut yang dapat mempengaruhi gerakan *pitching*, *rolling*, dan *heaving* kapal.

Kondisi *overload* yang didefinisikan sebagai beban berlebih yang melebihi batas aman [2],

berpotensi menurunkan GZ (lengan stabilitas) kapal secara signifikan [3]. Penurunan nilai GZ ini dapat meningkatkan risiko *capsizing* dan *downflooding*, yaitu masuknya air laut melalui bukaan di geladak kapal sebelum mencapai sudut kemiringan kritis [4]. Fenomena ini telah terbukti menjadi penyebab berbagai kecelakaan kapal di Indonesia, seperti kasus KMP. Rafelia 2 pada tahun 2016 yang tenggelam di Selat Bali disebabkan oleh muatan berlebih dan pintu rampa haluan yang tidak tertutup sempurna sehingga air masuk ke dalam geladak kendaraan [5].

Kecelakaan kapal yang disebabkan oleh *overload* bukan hal yang langka di Indonesia, sebagaimana yang terlihat pada dalam kasus KM. Sinar Bangun yang tenggelam di Danau Toba pada 2018 dengan membawa 188 orang penumpang, yang jauh melebihi kapasitas maksimalnya yang hanya 43 orang [6]. Selain itu, kasus serupa terjadi pada Mei 2021 di Waduk Kedung Ombo, Jawa Tengah, ketika perahu wisata yang membawa 20 penumpang terbaik usai sebagian penumpang berdiri dan bergeser ke satu sisi untuk berfoto, sehingga mengakibatkan 9 orang meninggal dunia [7]. Pemasalahan serupa juga ditemukan secara global, seperti yang terjadi pada kapal kecil penumpang di Bangladesh. Kecelakaan kapal di wilayah tersebut disebabkan oleh faktor cuaca buruk dan kondisi *overload* yang mengakibatkan kerumunan berpindah ke satu sisi, sehingga mengganggu stabilitas kapal [8].

Penelitian sebelumnya pada Perahu Wisata Wiro Sableng menunjukan bahwa saat mengangkut 19 penumpang, nilai area kurva GZ pada sudut 0° - 30° hanya mencapai 3,14477 *m.deg*, nilai tersebut tidak memenuhi kriteria IMO yang seharusnya mencapai nilai minimum sebesar 3,151 *m.deg* [9]. Penelitian lain pada Kapal Kharisma Jaya mengungkapkan bahwa kapal tanpa cadik, nilai GZ maksimum hanya 0,198 m pada muatan 21 penumpang, nilai ini masih di bawah kriteria IMO yang seharusnya 0,2 m [10]. Sementara itu, modifikasi struktur dan muatan pada kapal pengolah ikan juga menunjukan penurunan nilai GZ dari 0,431 m menjadi 0,300 m akibat naiknya posisi titik berat [11]. Penelitian pada KM. Nusantara 76 pada kondisi *overload* menunjukan bahwa perhitungan RMS of Roll tertinggi 3,99 deg pada *wave heading* 90° [12].

Urgensi penelitian ini diperkuat oleh landasan hukum nasional, yaitu Undang-Undang No. 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran yang mewajibkan setiap kapal dilengkapi dengan informasi stabilitas untuk memungkinkan nahkoda menentukan kondisi pemuatan yang layak [13]. Demikian pula, Peraturan Pemerintah No. 51 Tahun 2002 tentang Perkapalan yang mengharuskan setiap kapal memenuhi kriteria stabilitas sesuai dengan

peruntukannya [14].

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan evaluasi komprehensif terhadap batas maksimum jumlah penumpang yang dapat diangkut KMP Wisata Bahari 15 dengan tetap mempertahankan aspek stabilitas dan keselamatan. Evaluasi stabilitas dilakukan menggunakan *software Maxsurf Stability* dengan kriteria penilaian stabilitas mengacu pada *criteria IMO code on Intact stability A.749(18)*, *Ch 3- design criteria applicable to all ships*. Evaluasi olah gerak menggunakan *software Maxsurf Motion* dengan kriteria penilaian Tello.

Penelitian ini tidak hanya berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan pelayaran pada kapal tradisional, tetapi juga mendukung upaya sistematis dalam memberikan dasar teknis bagi kebijakan pengelola transportasi wisata laut yang aman dan berkelanjutan.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah KMP. Wisata Bahari 15 dengan cara pengambilan data primer melalui *survey* lapangan untuk melihat kondisi objek secara langsung dan wawancara. Data yang diambil meliputi ukuran utama kapal, data jumlah penumpang, dan data pelengkap lainnya.



Gambar 2.1 Objek Penelitian

Tabel 2.1 Ukuran Utama Kapal

Dimensi Kapal	Nilai Satuan
LOA	9,6 m
LWL	8,25 m
Breadth	2,9 m
Height	1,2 m
Draft	0,73 m
Speed	7 knot
Displacement	7,125 ton
Volume displacement	6,951 m ³
Cb	0,44
Cp	0,708
Cwp	0,774
Material	Kayu Jati
Jumlah Crew	1 Orang
Kapasitas Penumpang	25 Orang

2.2 Variasi Jumlah dan Posisi Penumpang

Dimensi utama kapal yang diperoleh selanjutnya dimodelkan menggunakan *software Maxsurf Modeller*. Penelitian ini menganalisis 16 kondisi menggunakan variasi jumlah penumpang dan variasi distribusi posisi. Adapun variasi penumpang dibagi menjadi 25, 30, 35, dan 40 orang. Dimana kapasitas penumpang maksimal 25 orang. Berat diasumsikan 75 kg per orang. Adapun variasi distribusi posisi penumpang antara lain.

1. Semua penumpang dalam posisi duduk
2. Penumpang di bagian *midship* ke belakang dalam posisi duduk
3. Penumpang di bagian *midship* ke belakang dalam posisi berdiri
4. Semua penumpang dalam posisi berdiri

2.2 Kriteria Penilaian

Analisis stabilitas dihitung menggunakan *software Maxsurf Stability* dengan *criteria IMO code on Intact stability A.749(18), Ch 3- design criteria applicable to all ships* seperti Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Kriteria IMO [15]

Parameter	Criterion	Unit
Max Area of GZ 0 to 30	0,0550	m.rad
Max Area of GZ 0 to 40	0,0900	m.rad
Max Area of GZ 30 to 40	0,0300	m.rad
Max GZ at 30 or greater	0,2	m
Angle of max. GZ	25	deg
Initial Metacentric Height	0,15	m

Analisis olah gerak menggunakan spectra JONSWAP (*Joint North Sea Wave Project*), dengan menggunakan tinggi gelombang sebesar 0,3 m yang disesuaikan dengan rata-rata kondisi gelombang di Perairan Pantai Bandenan. Analisis ini menggunakan kriteria Tello dengan bantuan *software Maxsurf Motion*.

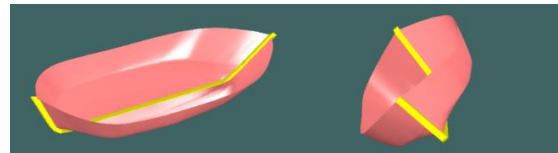
Tabel 2.3 Kriteria Tello [16]

Criterion	Maximum Value
C1 Roll	6° (rms)
C2 Pitch	3° (rms)

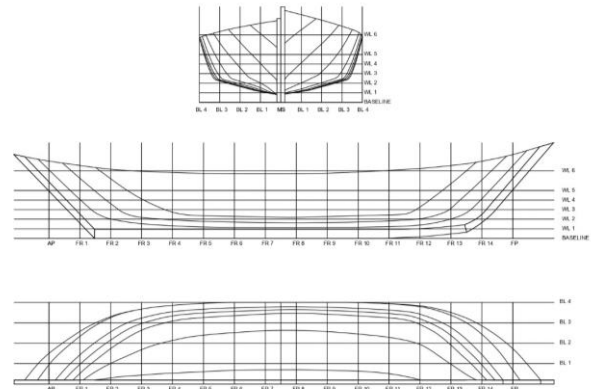
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembuatan Hullform dan Lines Plan

Tahap awal yaitu membuat 3D dan *lines plan* kapal melalui *software Maxsurf Modeller*, dengan metode *image background* memasukkan foto KMP. Wisata Bahari 15. Setelah 3D selesai, dilanjutkan mengatur *grid* untuk penyesuaian *lines plan*.



Gambar 3.1 3D Model



Gambar 3.2 Lines Plan KMP. Wisata Bahari 15

3.2 Komponen LWT dan Titik Berat

Perhitungan berat kapal dilakukan dengan mengidentifikasi seluruh komponen penyusun struktur kapal. Masing-masing komponen dihitung volumenya kemudian dikalikan dengan massa jenis kayu jati sesuai BKI yaitu 700 kg/m³ [17] untuk mendapatkan berat, yaitu sebesar 2247,95 Kg. Setelah itu, langkah selanjutnya yaitu penentuan titik berat kapal.

a. Longitudinal Center of Gravity

$$LCG = \frac{\sum \text{Berat} \times \text{Posisi LCG}}{\sum \text{Berat}}$$

$$LCG = \frac{-532,37}{2247,95} = -0,237 \text{ m dari midship}$$

b. Keel Center of Gravity

$$KG = \frac{\sum \text{Berat} \times \text{Posisi KG}}{\sum \text{Berat}}$$

$$KG = \frac{971,11}{2247,95} = 0,432 \text{ m dari baseline}$$

Berdasarkan LWT kapal, diperoleh sarat kapal dari pembacaan kurva hidrostatik yaitu sebesar 0,417 m dari *baseline*. Selanjutnya, penentuan dimensi penumpang dengan berat 75 kg seperti Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Dimensi Penumpang

Posisi	Dimensi	Long.	Trans.	Vert.
Duduk				
Tinggi (m)	0,919			0,459
Lebar (m)	0,466		0,233	
Tebal (m)	0,278	0,139		
Berdiri				
Tinggi (m)	1,732			0,866
Lebar (m)	0,466		0,233	
Tebal (m)	0,278	0,139		

3.3 Hasil Analisis Stabilitas

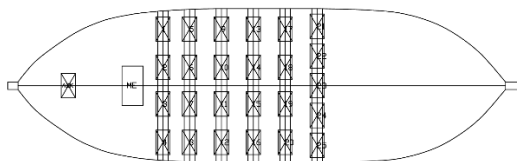
Analisis dilakukan dengan menggunakan *software Maxsurf Stability*. Analisis dilakukan dengan membandingkan beberapa kondisi pembebanan dan posisi distribusi penumpang untuk mengevaluasi sejauh mana kapal memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan oleh IMO. Analisis dilakukan menjadi 16 kondisi, dengan beban 25, 30, 35, dan 40 orang penumpang. Adapun distribusi posisi tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Posisi Distribusi Posisi

No	Posisi Distribusi Posisi
I	Semua penumpang dalam posisi duduk
II	Penumpang di bagian <i>midship</i> ke belakang dalam posisi duduk
III	Penumpang di bagian <i>midship</i> ke belakang dalam posisi berdiri
IV	Semua penumpang dalam posisi berdiri

3.3.1 Analisis Stabilitas dengan 25 Penumpang

Penumpang berjumlah 25 orang disertai ABK dengan letak penumpang seperti Gambar 3.3. Hasil stabilitas 25 orang penumpang dengan berbagai skenario posisi distribusi penumpang dinyatakan *pass* karena telah memenuhi nilai yang ditetapkan oleh IMO yang terlihat pada Tabel 3.3.



Gambar 3.3 Distribusi Posisi 25 Orang Penumpang

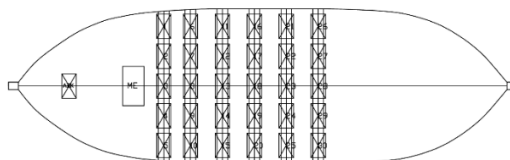
Tabel 3.3 Hasil Analisis Stabilitas 25 Penumpang

Criteria	I	II	III	IV
Area 0 to 30	0,1068	0,1045	0,1027	0,1004
Area 0 to 40	0,1652	0,1612	0,1581	0,1540
Area 30 to 40	0,0584	0,0567	0,0554	0,0537

Max GZ at 30 or greater	0,338	0,328	0,321	0,312
Angle of maximum GZ	33,6	33,6	33,6	32,7
Initial GMt	1,007	0,990	0,976	0,959
Status	Pass	Pass	Pass	Pass

3.3.2 Analisis Stabilitas dengan 30 Penumpang

Penumpang berjumlah 30 orang disertai ABK dengan letak penumpang seperti Gambar 3.4. Hasil stabilitas 30 orang penumpang dengan berbagai skenario posisi distribusi penumpang dinyatakan *pass* karena telah memenuhi nilai yang ditetapkan oleh IMO yang terlihat pada Tabel 3.4.



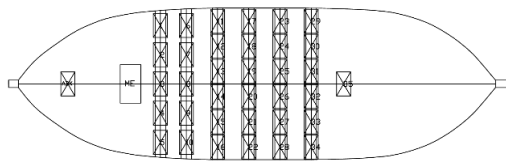
Gambar 3.4 Distribusi Posisi 30 Orang Penumpang

Tabel 3.4 Hasil Analisis Stabilitas 30 Penumpang

Criteria	I	II	III	IV
Area 0 to 30	0,0969	0,0946	0,0922	0,0898
Area 0 to 40	0,1441	0,1402	0,1363	0,1324
Area 30 to 40	0,0472	0,0457	0,0441	0,0426
Max GZ at 30 or greater	0,299	0,290	0,281	0,272
Angle of maximum GZ	31,8	31,8	30,9	30,9
Initial GMt	0,890	0,872	0,855	0,837
Status	Pass	Pass	Pass	Pass

3.3.3 Analisis Stabilitas dengan 35 Penumpang

Penumpang berjumlah 35 orang disertai ABK dengan letak penumpang seperti Gambar 3.5. Hasil stabilitas 35 orang penumpang dengan semua penumpang duduk dinyatakan *pass*, selain posisi tersebut tidak direkomendasikan karena dapat membahayakan keselamatan dalam pelayaran, seperti nilai yang terlihat pada Tabel 3.5, kondisi penumpang semua berdiri tidak memenuhi *Area 30 to 40*, semua kondisi *fail* kecuali semua penumpang posisi duduk.



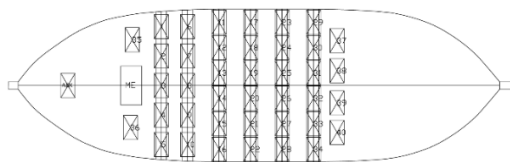
Gambar 3.5 Distribusi Posisi 35 Orang Penumpang

Tabel 3.5 Hasil Analisis Stabilitas 35 Penumpang

Criteria	I	II	III	IV
Area 0 to 30	0,0886	0,0858	0,0839	0,0810
Area 0 to 40	0,1190	0,1149	0,1121	0,1080
Area 30 to 40	0,0340	0,0291	0,0282	0,0269
Max GZ at 30 or greater	0,268	0,258	0,251	0,240
Angle of maximum GZ	30,0	30,0	30,0	29,1
Initial GMt	0,789	0,768	0,754	0,733
Status	Pass	Fail	Fail	Fail

3.3.4 Analisis Stabilitas dengan 40 Penumpang

Penumpang berjumlah 40 orang disertai ABK dengan letak penumpang seperti Gambar 3.6. Hasil stabilitas 40 orang penumpang dengan berbagai skenario posisi distribusi penumpang dinyatakan *fail* karena tidak memenuhi nilai yang ditetapkan oleh IMO yang terlihat pada Tabel 3.6.

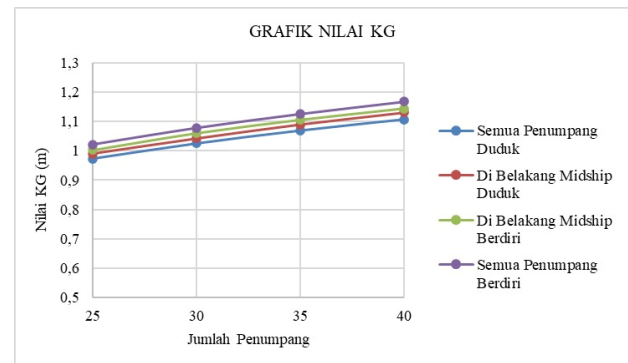


Gambar 3.6 Distribusi Posisi 40 Orang Penumpang

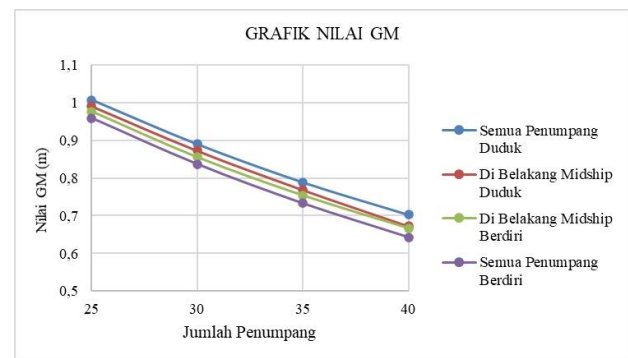
Tabel 3.6 Hasil Analisis Stabilitas 40 Penumpang

Criteria	I	II	III	IV
Area 0 to 30	0,0922	0,0890	0,0874	0,0841
Area 0 to 40	0,1145	0,1102	0,1080	0,1037
Area 30 to 40	0,0222	0,0212	0,0206	0,0195
Max GZ at 30 or greater	0,260	0,248	0,242	0,230
Angle of maximum GZ	29,1	28,2	28,2	27,3
Initial GMt	0,703	0,672	0,667	0,643
Status	Fail	Fail	Fail	Fail

Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 menunjukkan bahwa perbedaan posisi penumpang berpengaruh langsung terhadap nilai KG dan GM. Pada posisi berdiri, KG meningkat karena titik berat kapal bergeser lebih tinggi, sehingga GM menurun dan stabilitas berkurang. Sebaliknya, pada posisi duduk, KG lebih rendah dan GM lebih besar sehingga stabilitas lebih baik.

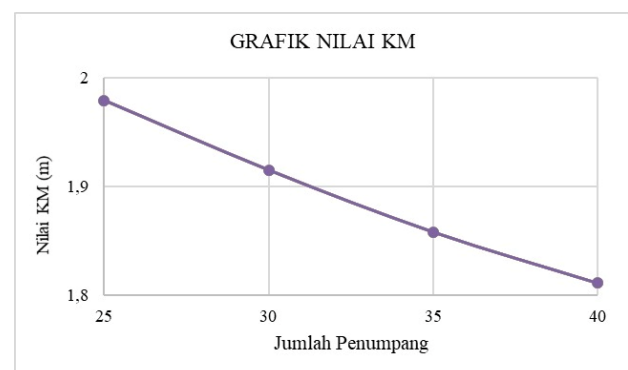


Gambar 3.7 Grafik Nilai KG



Gambar 3.8 Grafik Nilai GM

Selain itu, penambahan jumlah penumpang memberikan pengaruh pada nilai KM yang cenderung menurun. Penurunan KM ini memperlemah kemampuan kapal untuk mempertahankan stabilitas meskipun posisi penumpang tetap. Dengan demikian, hubungan antara kenaikan KG akibat posisi berdiri dan penurunan KM akibat bertambahnya jumlah penumpang menjelaskan penyebab berkurangnya nilai GM, yang pada akhirnya berdampak langsung pada menurunnya stabilitas kapal.



Gambar 3.9 Grafik Nilai KM

3.4 Hasil Analisis Periode Olang

Periode olang menggambarkan waktu yang dibutuhkan kapal untuk berayun dari satu sisi ke sisi lain dan kembali ke posisi awal akibat pengaruh luar seperti gelombang. Dalam melakukan hitungan periode olang menggunakan data nilai GM (*Metacentric Height*) dari hasil analisis stabilitas. Lalu, nilai C dipengaruhi oleh Lwl (*Waterline length of the ship*), sarat, dan lebar kapal. Perhitungan ini menggunakan rumus sesuai IMO (*International Maritime Organization*) Resolution A.562(14) sebagai berikut [18].

$$T = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{GM}}$$

Dimana,

$C = 0,373 + 0,023 (B/d) - 0,043 (L/100)$

$L = \text{Waterline length of the ship (m)}$

$B = \text{Breadth of the ship (m)}$

$d = \text{Draught of the ship (m)}$

$GM = \text{Metacentric height (m)}$

Tabel 3.7 Hasil Perhitungan Periode Olang

Jumlah (Orang)	Distribusi Posisi			
	Semua Duduk	Di Belakang Midship Duduk	Di Belakang Midship Berdiri	Semua Berdiri
25	2,836 s	2,861 s	2,881 s	2,907 s
30	2,987 s	3,018 s	3,048 s	3,081 s
35	3,142 s	3,185 s	3,214 s	3,259 s
40	3,290 s	3,373 s	3,385 s	3,447 s

Dalam konteks kenyamanan, bahwa periode olang yang dirasakan nyaman oleh penumpang berada pada kisaran 7-10 detik. Artinya, pergerakan yang terlalu cepat seperti 2-3 detik cenderung menyebabkan ketidaknyamanan seperti rasa mual. KMP. Wisata Bahari 15 merupakan kapal kecil tradisional, sehingga penambahan muatan dapat meningkatkan juga periode olang kapal [19]. Nilai ini menunjukkan bahwa kapal memiliki stabilitas yang baik, tetapi pergerakan yang cepat tersebut dapat mengganggu kenyamanan bagi penumpang.

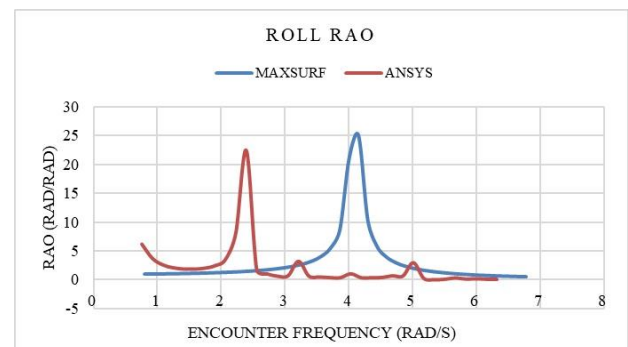
3.5 Hasil Analisis Olah Gerak Kapal

Analisis olah gerak dilakukan dengan *software Maxsurf Motion*. Pertama, penentuan trim kapal karena adanya perbedaan kondisi penumpang. Perhitungan menggunakan spektrum gelombang JONSWAP dengan tinggi gelombang 0,3 meter dan kecepatan kapal konstan sebesar 7 knot. Arah datang gelombang yang disimulasikan mencakup 0° (*following sea*), 45° (*stern quartering*), 90°

(*beam sea*), 135° (*bow quartering*), dan 180° (*head sea*). Parameter olah gerak yang diamati meliputi *heaving, rolling, pitching*.

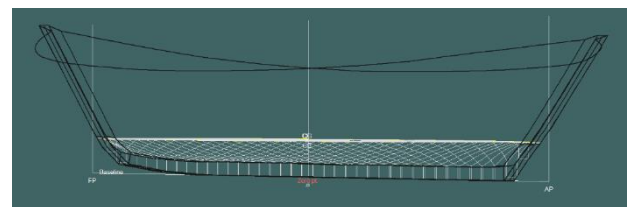
Validasi digunakan untuk memastikan keakuratan hasil simulasi *seakeeping* kapal yaitu membandingkan RAO roll 90° dengan *software Ansys Aqwa* dan *Maxsurf Motion*.

Berdasarkan hasil perbandingan pada Gambar 4.24 terlihat bahwa bentuk kurva antara *Maxsurf Motion* dan *Ansys Aqwa* tidak identik. Puncak respon kapal berbeda posisi maupun amplitudo, tetapi tren utama dari grafik menunjukkan pola yang sebanding, yaitu adanya puncak respon dominan pada frekuensi gerakan *roll*.



Gambar 3.10 Grafik RAO Roll 90°

Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui keterbatasan *Maxsurf Motion*, terutama saat diaplikasikan pada kapal dengan bentuk lambung berlinggi. *Maxsurf* menggunakan pendekatan *metode strip theory* yang lebih sederhana dengan asumsi permukaan lambung halus dan perhitungan hidrodinamika berbasis formulasi linear. Sementara itu, *Ansys Aqwa* menggunakan metode elemen hingga (FEM) yang mampu menangani geometri yang lebih kompleks, termasuk efek viskositas dan interaksi fluida struktur yang lebih detail.



Gambar 3.11 Hasil *Measure Hull* pada Kapal dengan Lambung Berlinggi

Sebagai penilaian baik tidaknya olah gerak kapal, maka digunakannya kriteria sudut maksimum pada *roll* dan *pitch* yang ditentukan dalam *General operability limiting criteria for ships* yang ditetapkan Tello dalam mengatur standar penerimaan olah gerak untuk kapal ikan.

Tabel 3.8 Hasil Hasil Analisis Nilai RMS berdasarkan Simulasi *Maxsurf Motion*

Item	Wave Heading (deg)	Nilai RMS			
		25 Orang	30 Orang	35 Orang	40 Orang
Heaving (m)	0	0,073	0,073	0,073	0,073
	45	0,073	0,073	0,073	0,073
	90	0,074	0,074	0,074	0,074
	135	0,075	0,075	0,075	0,075
	180	0,075	0,075	0,075	0,075
Rolling (deg)	0	0	0	0	0
	45	0,35	0,36	0,36	0,36
	90	1,03	1,03	1,03	1,03
	135	0,66	0,66	0,66	0,66
	180	0	0	0	0
Pitching (deg)	0	0,38	0,38	0,39	0,4
	45	0,31	0,31	0,32	0,32
	90	0,16	0,16	0,16	0,17
	135	0,29	0,29	0,29	0,29
	180	0,38	0,38	0,38	0,38

Tabel 3.8 menunjukan nilai *Root Mean Square* (RMS) dari gerakan *heaving*, *rolling*, dan *pitching* kapal berdasarkan hasil simulasi menggunakan *Maxsurf Motion*. Sebagaimana telah dijelaskan pada bagian validasi RAO, penggunaan *Maxsurf Motion* memiliki keterbatasan terutama untuk kapal dengan lambung berlinggi, sehingga RMS yang diperoleh pada penelitian ini dipahami sebagai nilai pendekatan.

Gerakan *heaving* memiliki nilai RMS yang relatif stabil untuk semua arah datang gelombang dan jumlah penumpang, dengan kisaran antara 0,073 m hingga 0,075 m. Nilai RMS tertinggi pada gerakan *rolling* terjadi pada arah gelombang 90° (*beam sea*), dengan nilai 1,03° pada semua kondisi penumpang, sedangkan arah gelombang lain menunjukkan nilai lebih kecil.

Nilai RMS *rolling* masih berada jauh di bawah batas maksimum 6° menurut kriteria Tello. Nilai RMS tertinggi pada gerakan *pitching* terjadi pada *wave heading* 0° , yaitu 0,4° pada 40 penumpang, sedangkan nilai terendah sebesar 0,16° pada *wave heading* 90°. Seluruh nilai RMS *pitch* yang diperoleh juga jauh di bawah batas 3° menurut standar Tello.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi stabilitas dan olah gerak kapal terhadap kondisi *overload* pada KMP. Wisata Bahari 15, maka pada bagian ini disajikan kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian yang

telah dilakukan. Hal ini bertujuan untuk memahami batas-batas aman operasional kapal dalam berbagai kondisi muatan, sehingga diharapkan hasil ini dapat menjadi dasar dalam pengoperasian kapal tradisional sejenis.

1. Stabilitas kapal menurun seiring bertambahnya penumpang. Nilai GZ tertinggi sebesar 0,338 m terjadi pada saat 25 penumpang dan menurun hingga 0,214 m pada saat kondisi 40 penumpang. Penurunan ini disebabkan oleh kenaikan *draft* kapal seiring bertambahnya beban yang berpengaruh terhadap titik KM. Perbedaan posisi penumpang berpengaruh terhadap stabilitas. Posisi seluruh penumpang berdiri menyebabkan penurunan nilai GZ sebesar 9,03% dibanding posisi duduk. Hal ini terjadi karena perpindahan titik berat ke atas sehingga mengurangi kestabilan kapal.
2. Batas aman maksimum penumpang yang dapat dimuat KMP. Wisata Bahari sesuai kriteria stabilitas yang ditetapkan adalah 35 orang. Pada kondisi 35 orang penumpang posisi duduk masih memenuhi kriteria stabilitas, tetapi saat 35 orang penumpang posisi berdiri, kapal mulai gagal memenuhi kriteria stabilitas. Kondisi dengan 40 orang penumpang baik duduk maupun berdiri, dinyatakan tidak aman secara stabilitas. Periode oleng terkecil tercatat 2,836 detik pada GM 1,007 m, sedangkan periode oleng terbesar 3,458 detik terjadi pada GM 0,639 m. Dari hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai periode oleng dipengaruhi oleh nilai GM yang didapatkan dari perhitungan stabilitas kapal, semakin besar nilai GM semakin kecil nilai periode oleng kapal.
3. Hasil perhitungan olah gerak kapal dapat berdasarkan kriteria yang ditentukan oleh *NORDFORSK* memenuhi kriteria olah gerak. Dimana nilai RMS *roll* dan nilai RMS *pitch* yang diperoleh masih jauh di bawah batas maksimum yaitu 6° dan 3° menurut Tello. Dimana untuk *roll* didominasi oleh sudut masuk (*wave heading*) 90°.

5. SARAN

Pengelola kapal tradisional perlu diberi pemahaman tentang pentingnya beban muatan dan distribusi muatan terhadap dampaknya ke stabilitas kapal. Pengawasan dari instansi terkait juga harus diperketat untuk memastikan jumlah penumpang tidak melebihi batas aman. Penelitian lanjutan disarankan untuk mempertimbangkan kondisi laut yang lebih kompleks seperti gelombang, maupun angin agar mendapatkan hasil yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Barrass and D. R. Derrett, *Ship Stability for Masters and Mates*, Sixth. Stanford Maritime Ltd, 2006.
- [2] N. S. F. R. Rahman and H. Z. Rosli, "An Innovation Approach for Improving Borneo Inland Passenger Water Transport Safety Level: Overload Problem," *Int. J. Bus. Tour. Appl. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 129–139, 2014.
- [3] Y. Novita, "Pengaruh Free Surface Terhadap Stabilitas Kapal Pengangkut Ikan Hidup," *Bul. PSP*, vol. 19, no. 2, pp. 35–43, 2011, [Online]. Available: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/bulpsp/article/view/4182>
- [4] C. Andrei, C. Stanca, N. Acomi, C. Dumitrache, and C. Ancuta, "Damage stability analysis in particular flooding situations of a multipurpose cargo ship," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 400, p. 082001, Sep. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/400/8/082001.
- [5] Komite Nasional Keselamatan Transportasi, "Laporan Investigasi Kecelakaan Pelayaran Tenggalamnya KMP. Rafelia 2," 2016.
- [6] D. Damarjati, "Tragedi Karamnya KM Sinar Bangun di Danau Toba," detiknews. [Online]. Available: <https://news.detik.com/berita/d-4359271/tragedi-karamnya-km-sinar-bangun-di-danau-toba>
- [7] R. Ajiyanto, "Tragedi Maut Perahu Terbalik di Kedungombo Renggut 9 Nyawa." [Online]. Available: <https://news.detik.com/berita-jawa-tengah/d-5579238/tragedi-maut-perahu-terbalik-di-kedungombo-renggut-9-nyawa>
- [8] K. S. Iqbal, G. Bulian, K. Hasegawa, M. M. Karim, and Z. I. Awal, "A rational analysis of intact stability hazards involving small inland passenger ferries in Bangladesh," *J. Mar. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 3, pp. 270–281, Aug. 2008, doi: 10.1007/s00773-008-0016-3.
- [9] D. P. Novem, W. Amiruddin, and P. Manik, "Analisis Teknis Pengaruh Beban Berlebih Perahu Wisata 'Wiro Sableng' Rawa Pening Pada Batas Capsizing," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 4, no. 7, pp. 514–522, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/24799>
- [10] A. Andilala, W. Amiruddin, and A. W. B. Santosa, "Analisa Beban Muatan Maksimum Yang Diperbolehkan Untuk Keselamatan Penumpang Pada Kapal Kharisma Jaya," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, pp. 792–799, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/18840>
- [11] M. A. Amardana, W. Amiruddin, and B. A. Adietya, "Analisa Teknis dan Ekonomis Pengaruh Modifikasi Kapal Ikan Menjadi Kapal Pengolah Ikan," *Tek. Perkapalan*, vol. 5, no. 4, pp. 758–765, 2017, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval/article/view/18834>
- [12] S. Liolita, W. Amiruddin, and M. Iqbal, "Analisis Sifat Laik Laut Kapal Penumpang KM. Nusantara 76 Pada Kondisi Overload," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 16, no. 2, pp. 56–64, 2019, doi: 10.14710/kapal.v16i2.23361.
- [13] *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008 Tentang Pelayaran*.
- [14] *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 51 Tahun 2002 Tentang Perkapalan*.
- [15] *Code on Intact Stability for All Types of Ships Covered by IMO Instruments: Resolution A.749(18)*. International Maritime Organization, 1993.
- [16] M. H. Ghaemi and H. Olszewski, "Total Ship Operability-Review, Concept and Criteria," *Polish Marit. Res.*, vol. 24, pp. 74–81, 2017, doi: 10.1515/pomr-2017-0024.
- [17] Biro Klasifikasi Indonesia, *Peraturan Kapal Kayu*, vol. VI. Biro Klasifikasi Indonesia, 2023. [Online]. Available: <https://www.bki.co.id/rule-0-1.html>
- [18] *IMO Resolution A.562(14)*. International Maritime Organization, 1985.
- [19] C. A. Adhitama, E. S. Hadi, and S. Jokosisworo, "Analisa Stabilitas Dan Olah Gerak (Seakeeping) Kapal Pada MV. Pan Marine Setelah Dikonversi Dari Kapal Kru Menjadi Kapal Wisata," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 07, no. 1, pp. 37–48, 2019, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>